



## Verifikácia dráhy nástroja pri trojosom obrábaní (frézovaní).

doc. Ing. Ján KRÁL, CSc., Katedra technológií a materiálov, SjF TU Košice, Mäsiarska 74, e-mail: Jan.Kral@tuke.sk

Ing. Ján KRÁL, Centrum informatiky, SjF TU Košice, Letná 9, e-mail: Kral.Jan@tuke.sk,

### Anotácia

Výroba zložitých tvarových plôch frézovaním je náročný technologický proces. Vhodné navrhovanie a optimalizácia dráhy nástroja je základom pre výrobu kvalitnej plochy s požadovanou presnosťou a drsnosťou. Zároveň sa skracuje čas výroby a zvyšuje trvanlivosť na počet obrobených kusov. Tieto kroky je možné simulovať v CAM programoch, ktoré majú viac či menej zvládnutú vizualizáciu v procese obrábania. Pre kontrolu dráhy nástroja je však potrebné použiť sofistikovanejšie prostriedky a na generovanie dráhy nástroja použiť vlastný algoritmus vychádzajúci z presného matematického modelu. Elimináciou chýb pri navrhovanom frézovaní, je možné 3D odmeriavaním zistiť odchýlky dráhy nástroja voči požadovanému stavu. Akým spôsobom je táto časť realizovaná je rozoberané v nasledujúcom článku.

**Kľúčové slová:** frézovanie, algoritmus, nástroj

### Úvod

Zmerať zložitú tvarovú plochu je minimálne tak náročný proces ako jej výroba. Na trhu je množstvo programov, ktoré umožňujú verifikáciu počítačového modelu s reálne vyrobeným modelom. Na túto kontrolu je potrebné nielen softvérové vybavenie, ale aj prístrojové.

Na vyhodnocovanie presnosti tvarovej plochy možno použiť aj CAD programy, ako CATIA alebo Pro/Engineer, ktoré ale nemajú dostatočný komfort pri ustáľovaní výrobku, a použitie pri tvarovo zložitej ploche je skoro nepoužiteľné.

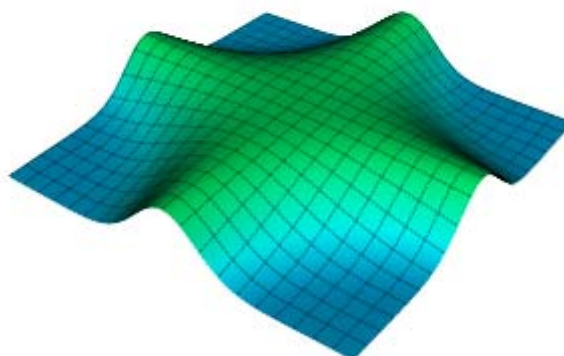
Aj z týchto dôvodov sa pristúpilo k vlastnému riešeniu vyhodnocovania presnosti tvarovo zložitej plochy.

### Meranie tvarovo zložitej plochy

Najvhodnejším spôsobom porovnávanie tvarovo zložitej plochy je komparácia nameranej plochy s matematicky popísanou plochou, pretože sa dá v každom bode exaktne vypočítať odchýlka.

Za modelovanú, parametricky popísanú plochu, bola zvolená plocha „Interference“ (obr. č. 1), ktorej rovnica je nasledovná:

$$z = \frac{0,3}{e^{((2 \cdot x)^2 + (2 \cdot y)^2)}}$$



Obr.1 Priestorové znázornenie modelovanej plochy

Meracím prístrojom v našom prípade bol súradnicový merací stroj od firmy Carl Zeiss Contura G2 RDS so snímacou hlavou VAST XXT (obr. 2), ktorým je vybavené školiace pracovisko – laboratórium súradnicovej metrológie SjF TU v Košiciach a Carl Zeiss. Na meranie je použitý základný merací systém dodávaný ku zariadeniu – Calypso. Tento program je bohužiaľ bez ďalších modulov, ktorých cena sa pohybuje v rádoch niekoľkých desiatok tisíc EUR. Softvér umožňuje pomocou navolenia kombinácie rôznych stratégií zmerať danú plochu ako množinu bodov X, Y a Z s vektormi odchýlky smeru v každom bode.



Obr.2 3D súradnicový systém Contura G2

Zakončenie dotykového hrotu snímačej hlavy má tvar gule (obr. 3) s polomerom 1,5 mm, pred každým meraním bola vykonaná kalibrácia systému. Špecifikom tejto tvarovej plochy je, že každý kvadrant plochy bol vyrobený iným spôsobom. Predná polovica, bola vyrobená protibežným a zadná súbežným frézovaním a ľavá strana mala päťkrát väčšiu hustotu bodov ako pravá.



Obr.3 Snímací systém a meraná parametrická plocha

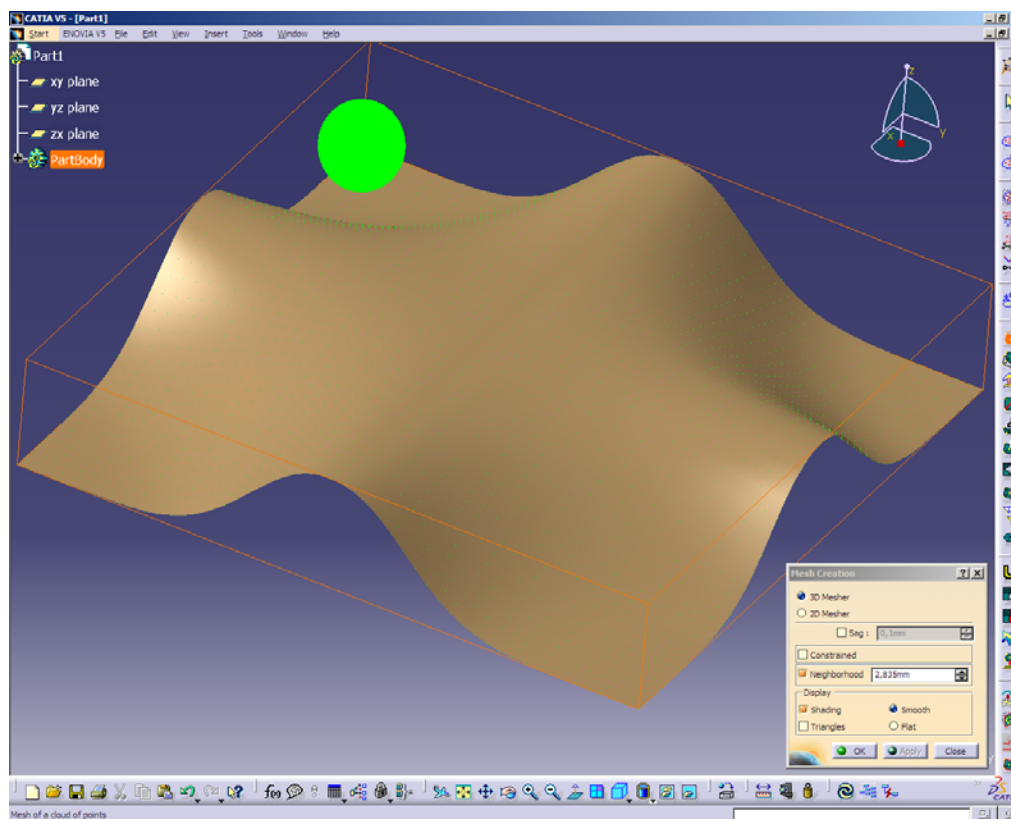
Takto sa na jedno upnutie mohlo odskúšať viacero verzií a navzájom porovnať. Bodové meranie, na ktoré sme boli odkázaní chýbajúcimi modulmi, malo dve hlavné obmedzenia.

- dlhý čas merania (cca 3 hodiny),
- obmedzené množstvo snímných bodov (cca 2500).

Výpis zo súboru nasnímaných bodov:

```
2.5581000e+000 3.2933000e+000 1.4872000e+000 -3.0000000e-003 4.0000000e-004 -1.0000000e+000 1.5005000e+000
2.5593000e+000 4.2377000e+000 1.4886000e+000 -3.0000000e-003 4.0000000e-004 -1.0000000e+000 1.5005000e+000
2.5579000e+000 5.1797000e+000 1.4874000e+000 -3.0000000e-003 4.0000000e-004 -1.0000000e+000 1.5005000e+000
2.5574000e+000 6.1219000e+000 1.4939000e+000 -3.0000000e-003 4.0000000e-004 -1.0000000e+000 1.5005000e+000
```

Tento súbor množiny bodov možno jednoducho vizuálne skontrolovať, napríklad v Catii pomocou modulu na reverzné inžinierstvo (obr. 4).



Obr. 4 Vizuálna interpretácia nasnímaných bodov

### Vyhodnotenie nameraných údajov

Ako už bolo spomenuté, niektoré CAD systémy obsahujú moduly na vyhodnocovanie, resp. na zobrazenie odchýlok dvoch plôch. Ich predpríprava je však značne komplikovaná, odhliadnuc od toho, že tento modul nie je dostupný vo všetkých verziách. Preto sa pristúpilo k vytvoreniu vlastného programu na výpočet absolútnej odchýlky matematicky vypočítanej plochy od nameranej. Program bol vytvorený v programe OCTAVE.

V prvom kroku program ustáli namerané dáta okolo každej osi tak, aby nameraná plocha bola natočená totožne s vypočítanou. Tieto “natáčania” sa iterujú dovtedy, pokiaľ sa nedosiahne požadovaná presnosť (v našom prípade 0.001 mm). Následne môžeme so skorigovanými bodmi vypočítať novú matematicky popísanú plochu. Tá má vypočítavané súradnice osi Z pre skorigované X a Y. Následne je možné vypočítať odchýlku nameranej plochy od vypočítanej plochy, poprípade z týchto hodnôt zostrojiť graf (obr. 5).

Výpis protokolu z programu:

```
x: 2.5412 47.6626
y: 2.3315 48.5618
z: 1.4787 9.0228
max(z)-min(z)=7.5441
```

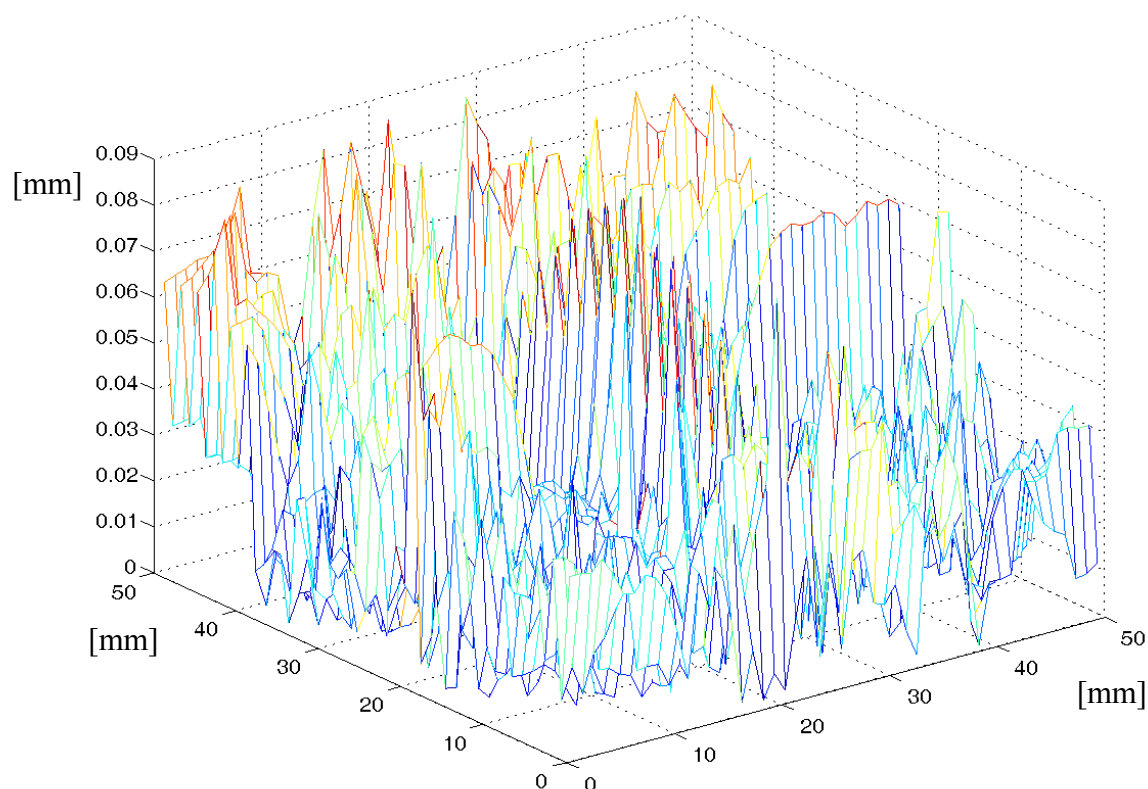
$$\max(zT) - \min(zT) = 0.30176$$

x0 =  
0  
0  
0  
25.10190000000000  
25.44665000000000  
1.52280000000000

x =  
-0.00035109785986  
-0.00077074971450  
0.00064034640870  
24.93834157308086  
25.03374944200819  
1.74848746899631

$\max(zT) - \min(zT) = 0.30269$   
D0 = 0.2723    D = 0.1463  
D0min = 9.6297e-007    Dmin = 1.242e-005  
D0max = 0.038818    Dmax = 0.013348

Vektor x pozostáva z 3 uhlov rotácii okolo osi x, y, z a z 3 súradníc, do ktorých patrí bod D je odchýlka, ktorá musí byť menšia v porovnaní so začiatočnou D0, inak by korelácia nameranej plochy v priestore voči transformovanej ploche do ideálnej roviny bola negatívna.



Obr.5 Graf absolútnej odchýlky nameranej plochy Interference

## Záver

Vyhodnotenie presnosti zložitej tvarovej plochy je zložitá záležitosť. Mnohé 3D skenery nedisponujú dostatočnou presnosťou a mnohé programy sú značne komplikované. Naším postupom je možné rýchlo a jednoducho zmerať akúkoľvek matematicky popísanú plochu. Nie je nutné časovo náročné ustavovanie meraného objektu do ideálnej polohy pri meraní, pretože sa o to stará program. Týmto spôsobom sa dá zistiť aj skutočná presnosť stroja pri zložitých tvarových plochách. Meraním bola zistená vyššia presnosť pri protibežnom oproti súbežnému frézovaniu. Maximálna absolútna odchýlka protibežného frézovania bola 0,045 mm a pri súbežnom frézovaní 0,09mm.

**Článok je súčasťou riešenia grantového projektu č. 1/4159/07.**

## Literatúra

- [1] Carl Zeiss spol. s r.o.: Portálové stroje-Contura G2, Bratislava 2008, <http://www.zeiss.sk/>
- [2] SjF TU v Košiciach: Školiace pracovisko – laboratórium súradnicovej metrológie – firmy Carl Zeiss a TU SjF, Košice 2008, <http://web.tuke.sk/sjf-kbiaam/zeiss.pdf>
- [3] Kłonica M., Józwik J.: Analiza mikronierówności powierzchni ścianek pochyłych po obróbce trzpieniowym frezem kulistym na obrabiarce CNC. 9th International Conference „Automation in Production Planning and Manufacturing“ Zilina 5-7.05.2008, Slovakia. Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. pp. 117 - 124, 2008r.
- [4] Řehoř, J, Hofmann, P., Hort, P. : Tvorba třísky a další průvodní jevy při HS frézování vysokolegované nástrojové oceli v zušlechťeném stavu. In: ICPM 2001 : mezinárodní kongres Přesné obrábění : sborník přednášek. Ústí nad Labem : UJEP, 2001. ISBN 80-7044-358-8, S. 199-208.
- [5] Řehoř, J. : Studie problematiky vysokorychlostního obrábění kalených ocelí z hlediska morfologie třísky. In: Nové technologie a systémy řízení nástrojařských provozů. KTO 2002, s. 20-23, Plzeň 2002.

